Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 2, Summer 2023, p. 363-376

Study of Agronomic Traits, Yield Performance and Economical Indices in Intercropping of Spinach with Chickpea

J. Hamzei[1*], M. Khishvand[2]

Received: 18-03-2022
Revised: 16-07-2022
Accepted: 19-12-2022
Available Online: 19-12-2022

How to cite this article:
Hamzei, J., & Khishvand, M. (2023). Study of agronomic traits, yield performance and economical indices in intercropping of spinach with chickpea. *Journal of Horticultural Science*, *37*(2), 363-376. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2022.75899.1153

Introduction

Due to the limits of the conventional agricultural system, intercropping is important in terms of production sustainability. Intercropping plays an important role in increasing production and performance stability to improve the use of resources and environmental factors. Spinach (*Spinacia oleracea* L.) is an important leafy vegetable, of which the leaves and tender shoots are consumed fresh or processed. Spinach is native to Iran. Spinach contains different flavonoids that function as antioxidants and anticancer agents. Also, spinach may be used in the prevention of Alzheimer's disease. It is an annual plant and as well as chickpea, spinach is grown as both an early spring and late fall crop in order to have growth at the coolest parts of the season. Spinach seed yield varies based on the climatic conditions, optimum sowing date and chose of the best planting pattern. Considering that the intercropping of this plant has not been studied with legumes such as chickpe, this experiment was designed to determine the possibility of intercropping spinach with chickpea using agronomical and economical indices, as well as determining the best planting pattern.

Materials and Methods

In order to investigate agronomic traits, yield and economical indices in spinach intercropping with chickpea, an experiment was carried out as a randomized complete block design with four treatments and three replications in 2017-18 growing season in Tuyserkan city, Hamedan province. In this city, spinach is mainly cultivated for seed production. Experimental treatments included additive intercropping of 20% chickpea with spinach, replacement intercropping of 60% spinach + 40% chickpea and pure stand of spinach and chickpea. Plant height, number of branches per plant, number of seeds per plant, 1000 seed weight, grain yield and biological yield in spinach, as well as plant height, number of branches per plant, number of pods per plant, number of seeds per pod, 1000 seed weight, grain yield and biological yield in chickpea were measured. To compare the advantages of intercropping of spinach with chickpea, the land equivalent ratio (LER), dry matter equivalent ratio (DMER), system productivity index (SPI), competitive ratio (CR), aggressivity (AG), actual yield loss (AYL), relative value total (RVT), monetary advantage index (MAI) and intercropping advantage (IA) were calculated and evaluated. SAS 9.1 software were used for analysis of variance (ANOVA) calculations. The difference between the means was evaluated by the least significant difference (LSD) method at the level of 5% probability.

Results and Discussion

Plant height, number of branches per plant, 1000 grain weight and grain and biological yields of spinach were significantly affected by intercropping. The highest plant height and the lowest number of branches per spinach plant were obtained from the replacement intercropping. Additive intercropping and pure stand of spinach without significant difference had the lowest plant height and the highest number of branches per plant.

1 and 2- Associate Professor and Former M.Sc. Student, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: j.hamzei@basu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jhs.2022.75899.1153

The highest 1000 grain weight and grain yield of spinach were associated with the additive intercropping method. However, in terms of biological yield, the pure stand of spinach showed the highest results. Notably, there were no significant differences between the treatments of additive intercropping and pure stand of spinach concerning grain and biological yield of spinach. On the other hand, in chickpeas plants, intercropping had a notable impact on various parameters. Specifically, plant height, number of branches per plant, number of pods per plant, 1000 grain weight, and both grain and biological yields were affected by the intercropping method. Among these, the additive intercropping treatment resulted in the highest plant height, while it had the lowest number of branches and number of pods per chickpeas plant.The highest 1000 grain weight and grain yield of spinach were related to the additive intercropping. Pure stand of spinach had the maximum biological yield. Treatments of additive intercropping and pure stand of spinach were not significantly different in terms of grain and biological yield of spinach. In chickpeas plant, plant height, number of branches per plant, number of pods per plant, 1000 grain weight, grain and biological yields were affected by intercropping. The highest plant height and the lowest number of branches and number of pods per chickpeas plant were obtained at the treatment of additive intercropping. Maximum grain and biological yields of chickpea were belonged to the pure stand of chickpea. Spinach and chickpea were dominant and recessive plants, respectively. Evaluation of the economical indices also showed the advantages of spinach intercropping with chickpea at both intercropping design (replacemet and additive intercropping). So that the highest values for land equivalent ratio, dry matter equivalent ratio, system productivity index, actual yield loss, relative value total and monetary advantage index were achieved at additive intercropping system. But, the lowest values for these indices (1.13, 1.06, 1.20 and 1321 for LER, DMER, RVT and MAI, respectively) were revealed at replacement intercropping.

Conclusion

Overall, the results indicate that chickpea is a suitable plant for intercropping with spinach. So that the intercropping of 20% chickpea with spinach improved the yield performance of spinach and land-use efficiency and can lead to the greatest economical profit.

Keywords: Beans, Land use efficiency, Multiple cropping, Vegetables, Yield

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۲، ص. ۳۷٦-۳٦۳

بررسی صفات زراعی، تولید محصول و شاخص‌های اقتصادی در کشت مخلوط اسفناج با نخود

جواد حمزه‌ئی[1*] - مسعود خیشوند[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۸

چکیده

به‌منظور بررسی صفات زراعی، عملکرد و شاخص‌های اقتصادی در کشت مخلوط اسفناج با نخود، آزمایشی به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تیمار و سه تکرار در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در شهرستان تویسرکان اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد نخود با اسفناج، کشت مخلوط جایگزینی ۶۰ درصد اسفناج + ۴۰ درصد نخود و کشت‌های خالص اسفناج و نخود بودند. ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته و عملکرد دانه اسفناج به طور معنی‌داری تحت تأثیر کشت مخلوط قرار گرفتند. بیشترین ارتفاع بوته و کمترین تعداد شاخه در بوته اسفناج از کشت مخلوط جایگزینی به‌دست آمد. کشت مخلوط افزایشی و کشت خالص اسفناج نیز بدون تفاوت معنی‌دار کمترین ارتفاع بوته و بیشترین تعداد شاخه در بوته را داشتند. بیشترین عملکرد دانه اسفناج مربوط به کشت مخلوط افزایشی بود. تیمارهای کشت مخلوط افزایشی و کشت خالص از لحاظ عملکرد دانه و بیولوژیک اسفناج تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. در گیاه نخود نیز ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه تحت تأثیر کشت مخلوط قرار گرفتند. بیشترین ارتفاع بوته و کمترین تعداد شاخه و تعداد غلاف در بوته نخود از کشت مخلوط افزایشی به‌دست آمد. بیشترین عملکرد دانه نخود نیز مربوط به کشت خالص نخود بود. اسفناج و نخود به ترتیب گیاهان غالب و مغلوب بودند. ارزیابی شاخص‌های اقتصادی نیز سودمندی کشت مخلوط اسفناج با نخود را نشان دادند. به طوری که بالاترین نسبت برابری زمین، نسبت برابری ماده خشک، شاخص بهره‌وری سیستم و شاخص سودمندی مالی از کشت مخلوط افزایشی حاصل شد. در مجموع نتایج بیانگر این است که نخود گیاه مناسبی جهت کشت مخلوط با اسفناج است. به طوری که کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد نخود با اسفناج، عملکرد اسفناج و کارایی استفاده از زمین را بهبود بخشیده و می‌تواند بیشترین سود اقتصادی را عاید کشاورز کند.

واژه‌های کلیدی: چند کشتی، حبوبات، سبزیجات، عملکرد، کارایی استفاده از زمین

مقدمه

کشاورزی پایدار تلفیقی از دانش مدیریت است که می‌تواند در بلندمدت از نظر بیولوژیکی، زیست محیطی و اقتصادی ارزش افزوده مطلوبی به‌همراه داشته باشد. یکی از راهکارهای کلیدی در کشاورزی پایدار بازگرداندن تنوع به محیط‌های کشاورزی و مدیریت مؤثر آن است (Seyedi and Hamzei, 2017).کشت مخلوط به‌عنوان یکی از مهمترین سیستم‌های کشاورزی قابل اجرا در بسیاری از کشورهای در حال توسعه می‌تواند به جهت تنوع محصولات و افزایش سود حاصله در واحد سطح و زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد (Ibrahim *et al.*, 2014). درحقیقت کشت مخلوط یکی از نظام‌های کشاورزی پایدار است که مزایای اکولوژیکی، بیولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی بیشتری نسبت به کشت خالص دارد (Iqbal *et al.*, 2019). در این سیستم کاشت، هدف افزایش عملکرد در بعد زمان و مکان بوده و گیاهان با بیشترین کارایی، از منابع محیطی استفاده می‌کنند (Vrignon-Brenas *et al.*, 2016). در کشت مخلوط گندم با نخود کارایی مصرف عناصر غذایی نسبت به تک‌کشتی افزایش یافت. به‌طوری که، تثبیت نیتروژن توسط نخود و استفاده بهینه گیاهان از

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد سابق، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
(*- نویسنده مسئول : (Email: j.hamzei@basu.ac.ir
DOI: 10.22067/jhs.2022.75899.1153

منابع موجود در خاک موجب افزایش حاصلخیزی خاک و نیز کارایی استفاده از زمین و کاهش شستشوی عناصر غذایی گردید (Latati et al., 2019). همینطور، از مهمترین فواید کشت مخلوط افزایش تولید در واحد سطح نسبت به تک کشتی، به‌دلیل استفاده بهتر از نور خورشید است. به‌طوری که کارایی مصرف نور در کشت مخلوط ذرت با لوبیا، به‌طور معنی‌داری بالاتر از کشت خالص گزارش شده است (Fatemi et al., 2021). همینطور کشت مخلوط، کارایی استفاده از زمین را بهبود بخشیده و برای سیستم‌های کشاورزی کم‌نهاده به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، قابل توصیه است (Koocheki et al., 2017; Kimura et al., 2018; Iqbal et al., 2019; Nawar and Khalil, 2020). به‌طور کلی بهبود عملکرد در سیستم‌های کشت مخلوط، در گرو انتخاب گیاهان سازگار و واجد صفات مناسب برای ایجاد حداقل رقابت و حداکثر همیاری و به‌کارگیری عملیات زراعی مناسب می‌باشد (Lithourgidis et al., 2011). برای ارزیابی ارزش اقتصادی الگوهای مختلف کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص از شاخص‌های نسبت برابری زمین، مجموع ارزش نسبی، بهره‌وری سیستم و سودمندی کشت مخلوط استفاده می‌شود. نسبت برابری زمین بیان می‌کند که برای به‌دست آوردن محصولی معادل عملکرد حاصل از یک هکتار کشت مخلوط، چه مقدار زمین به صورت تک‌کشتی مورد نیاز است. مجموع ارزش نسبی نیز بیانگر نسبت کل درآمد ناخالص کشت مخلوط به بیشترین درآمد کشت خالص است (Lithourgidis et al., 2011). در کشت مخلوط کنجد با لوبیا، بیشترین نسبت برابری زمین (۱/۵۹) از کشت مخلوط ۵۰ درصد کنجد با لوبیا به‌دست آمد (Koocheki et al., 2014). به‌دلیل تثبیت نیتروژن توسط ریشه گیاهان خانواده حبوبات و افزایش حاصلخیزی خاک، در اکثر مواقع یکی از گیاهان وارد شده به کشت مخلوط، حبوبات می‌باشد. گرایش به استفاده از حبوبات در سیستم‌های تولید سازگار با محیط زیست افزایش یافته است که هدف آنها دست‌یابی به بازیابی مؤثر موادغذایی می‌باشد (Salama et al., 2022). نخود (*Cicer arietinum* L.) گیاهی است علفی یکساله، روز بلند و از مهمترین حبوبات دنیاست که در مناطق نیمه‌خشک به‌طور وسیعی کشت می‌شود (Banik et al., 2006). اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) نیز گیاهی است یکساله، روز بلند و محصول نواحی سرد که در آب و هوای خنک بهتر رشد و نمو می‌کند. اسفناج از سبزیجات مهمی است که برگ‌ها و شاخه‌های تازه یا فرآوری شده آن مصرف می‌شود. اسفناج بومی آسیای مرکزی و احتمالا بومی ایران است. اسفناج یک سبزی برگ غنی از مواد مغذی است. این گیاه شامل فلاونوئیدهای مختلف است که به عنوان آنتی اکسیدان و عوامل ضدسرطانی عمل می‌کنند. همچنین، اسفناج در پیشگیری از بیماری آلزایمر استفاده می‌شود. در استان همدان و شهرستان تویسرکان، اسفناج عمدتا جهت تولید بذر کشت می‌شود. عملکرد این گیاه بین ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر است. در زمینه کشت مخلوط اسفناج با سایر گیاهان زراعی آزمایشاتی صورت گرفته و گزارش شده است که در حالت کشت مخلوط، هر دو گونه از منابع محیطی با راندمان بیشتری استفاده کرده و نسبت برابری زمین بزرگتر از یک داشتند. از جمله، تأثیر نخودفرنگی بر عملکرد و شاخص‌های رقابت در سری های کشت مخلوط جایگزینی و افزایشی با اسفناج بررسی و مشخص گردید که کشت مخلوط اسفناج با نخود فرنگی سودمند بوده و در هیچ کدام از تیمارهای کشت مخلوط کاهش عملکرد واقعی مشاهده نشد. در این مطالعه، نسبت برابری زمین در الگوهای مختلف کشت مخلوط بیشتر از یک بوده و همچنین، نسبت برابری زمین و شاخص بهره وری سیستم در کشت مخلوط سری افزایشی بیشتر از کشت مخلوط سری جایگزینی گزارش شده است (Salehi Sheikhi et al., 2020). در کل، هرچند پژوهش‌های متعددی در مورد جنبه‌های مختلف کشت مخلوط در ایران صورت گرفته است، ولی مقایسه اثر دو روش جایگزینی و همجواری بر تولید محصول و برخی شاخص‌های کشت مخلوط اسفناج با نخود در منطقه همدان ناشناخته باقی‌مانده است. بنابراین، این آزمایش با هدف بررسی امکان کشت مخلوط اسفناج با نخود با استفاده از شاخص‌های زراعی و اقتصادی و نیز در صورت امکان تعیین بهترین الگوی کاشت، طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در شهرستان تویسرکان از توابع استان همدان، به منظور بررسی امکان کشت مخلوط اسفناج (برای تولید دانه) با نخود با استفاده از شاخص‌های زراعی و نیز شاخص‌های اقتصادی و سودمندی کشت مخلوط اجرا گردید. مقدار بارش ماهانه و دمای منطقه در طول دوره رشد در جدول ۱ آورده شده است. قبل از اجرای طرح به منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش، تعداد ده نمونه به صورت تصادفی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه و مخلوط شدند. نمونه خاک در آزمایشگاه مورد تجزیه قرار گرفت که برخی از مشخصات آن در جدول ۲ ارائه شده است.

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کشت مخلوط جایگزینی اسفناج_ نخود با نسبت ۴۰:۶۰ (اسفناج: نخود)، کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد نخود با اسفناج (۱۰۰:۲۰)، کشت خالص اسفناج و کشت خالص نخود تیمارهای آزمایشی بودند. عملیات خاک‌ورزی اولیه (شخم) در پائیز و عملیات خاک‌ورزی ثانویه شامل دوبار دیسک عمود برهم و تسطیح زمین با استفاده از لولر در اسفندماه سال ۱۳۹۵ انجام شد.

جدول ۱- ویژگی‌های آب و هوایی محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵
Table 1- Meteorological characteristics of the experimental site in 2016-2017

ماه Month	اسفند ۹۵ March2016	فروردین ۹۶ April 2016	اردیبهشت ۹۶ May 2016	خرداد ۹۶ Jun 2016	تیر ۹۶ July 2016	مرداد ۹۶ Augus 2016
Rainfall (mm) /بارندگی	84.5	142.3	23.5	_	_	_
Average temperature (°c) /میانگین دما	6.1	9	13.2	17.3	21.1	22.8
T_{max} (°c)بیشینه دما	9.9	14.1	20.2	25.5	31.1	33.5
T_{min} (°c)کمینه دما	2.3	3.9	6.8	9.1	11.0	12.0
Sunny hoursساعات آفتابی	8.0	9.3	12.0	13.4	14.0	14.5

جدول ۲- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش
Table 2- Soil physico-chemical characteristics of the experimental site

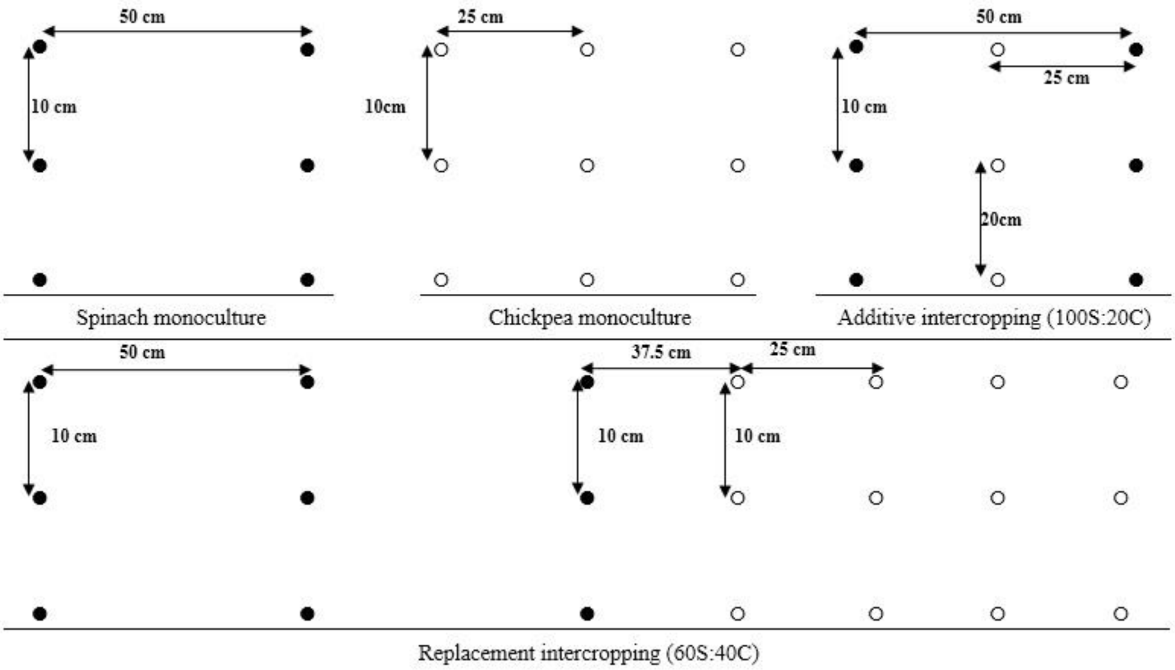
بافت خاک Soil texture	پتاسیم قابل جذب Available K (ppm)	فسفر قابل جذب Available P (ppm)	کربن آلی Organic C (%)	نیتروژن کل Total N (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})
Clay silty	247	12.20	0.2	0.13	6.80	4.10

جهت تأمین عناصر غذایی گیاهان و طبق توصیه کودی، ۲۰ تـن در هکتار کود دامی قبل از انجام شخم بـه زمـین اضـافه و بـا خـاک مخلوط شد. عملیات کاشت اسفناج و نخود به‌صـورت همزمـان در ۲۸ اسفند ماه سال ۱۳۹۵ در کرت‌هایی به طول شش متر و با عرض دو و نیم متر انجام گرفت. بذر مورد اسـتفاده بـرای اسـفناج از بـذور تـوده محلی تویسرکان و بذر نخود (رقم هاشـم) از مؤسسـه تحقیقـات دیـم سرارود کرمانشاه تهیه شد. فواصل بین ردیف‌های کاشـت اسـفناج ۵۰ سانتی‌متر، فاصله بوته بـر روی ردیـف ۱۰ سـانتی‌متـر و بـرای نخـود فواصل بین ردیف‌های کاشت ۲۵ سانتی‌متـر و فاصـله بوتـه بـر روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تراکم نهایی در کشـت خـالص اسفناج ۲۰ بوته در متـرمربـع و در کشـت خـالص نخـود ۴۰ بوتـه در مترمربع بود. در کشت خالص اسفناج و نخود به‌ترتیب پـنج و ده خـط کاشـت در هـر کـرت وجـود داشـت. در کـرت‌هـای کشـت مخلـوط جایگزینی (۶۰ درصد اسفناج + ۴۰ درصد نخود) نیز سه ردیف اسفناج و چهار ردیف نخود کشت شد. در کشت مخلوط افزایشـی، ۲۰ درصـد تراکم کشت خالص نخود (هشت بوته در مترمربع) در بین ردیف‌های اسفناج کشـت شـد. بنـابراین، در اجـرای کشـت مخلـوط از دو روش جایگزینی و همجواری (افزایشی) استفاده شد (شکل ۱). همچنین، در هر بلوک فاصله کرت‌ها از هم یک متر و فاصلهٔ بین دو بلوک دو متـر درنظر گرفته شد. بـذور نخـود قبـل از کاشـت بـا بـاکتری ریزوبیـوم لگومینوزاروم که از شرکت فناوری زیستی مهر آسیا تهیـه شـده بـود تلقیح گردید. کشت به صـورت کپـه ای انجـام گرفـت و بـه‌منظـور دسترسی به تراکم مطلوب مورد نظر، دو تا سه هفته پس از سبز شدن بوته‌های اضافی تنک شدند. زمانی که رنگ غـلاف‌هـای نخـود زرد و رنگ بوته‌های اسفناج (با هدف برداشـت دانـه) کـاملا زرد شـده بـود برداشت انجام شد. به عبارتی، برداشت اسفناج و نخود به‌ترتیب در ۱۰ و ۲۰ تیرماه ۱۳۹۶ صورت گرفت. بـرای تعیـین عملکـرد بیولوژیـک، عملکرد دانه و اجزای عملکرد، نمونه‌برداری در مرحله رسیدگی بوته‌ها انجام شد. نحوهٔ نمونه‌برداری بدین صورت بود که از ردیف‌های میانی کرت‌ها بعد از حذف حاشیه‌ها، نمونه‌ای به مساحت دو مترمربع برداشت شد و پس از خشک شدن در هوای آزاد توزین و عملکـرد بیولوژیـک ثبت گردید. سپس دانه‌ها از کاه و کلش جدا و جهت ثبت عملکرد دانه توزین شدند. صفات ارتفاع بوته (فاصـله از سـطح خـاک تـا بـالاترین ارتفاع)، تعداد شاخه در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در اسفناج و در نخود نیز صفات تعداد غـلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانـه و عملکـرد بیولوژیک اندازه‌گیری شدند. جهت ارزیابی سودمندی کشـت مخلـوط اسفناج با نخود در مقایسه با کشت خالص به‌ترتیب از روابط یک تا ۱۲ برای محاسبه شاخص نسبت برابری زمـین[1] (Lithourgidis *et al.*, 2011)، نسبت برابری ماده خشک[2] (Salama *et al.*, 2022) شاخص بهره‌وری سیستم[3] (Banik *et al.*, 2006)، نسبت رقابتی[4] (Dhima *et al.*, 2007)، شاخص غالبیت[5] (Bedoussac and Justes, 2011)، شاخص کـاهش عملکـرد واقعـی[6] (Banik *et al.*, 2006)، شـاخص مجموع ارزش نسبی[7] (Vrignon-Brenas *et al.*, 2016) ، شـاخص سودمندی مالی[8] و شاخص سودمندی کشت مخلوط[9] (Banik *et al.*, 2006) استفاده شد.

1- Land equivalent ratio
2- Dry matter equivalent ratio
3- System productivity index
4- Competitive ratio
5- Aggressivity
6- Actual yield loss
7- Relative value Total
8- Monetary advantage index
9- Intercropping advantage

رابطه (۱)	نسبت برابری زمین	$LER = (Yab/Yaa)+(Yba/Ybb)$
رابطه (۲)	نسبت برابری ماده خشک	$DMER = (DMab+DMba)/DMaa$
رابطه (۳)	شاخص بهره‌وری سیستم	$SPI = (Yaa/Ybb)\times(Yba+Yab)$
رابطه (۴)	نسبت رقابتی اسفناج	$CRa = (LERa/LERb)\times(Zba/Zab)$
رابطه (۵)	نسبت رقابتی نخود	$CRb = (LERb/LERa)\times(Zab/Zba)$
رابطه (۶)	شاخص غالبیت	$AGa = 2*(LERa-LERb) = - AGb$
رابطه (۷)	کاهش عملکرد واقعی اسفناج	$ALYa = [(Yab/Zab)/(Yaa/Zaa)]-1$
رابطه (۸)	کاهش عملکرد واقعی نخود	$ALYb = [(Yba/Zba)/(Ybb/Zbb)]-1$
رابطه (۹)	مجموع ارزش نسبی	$RVT = (Pa\times Yab+Pb\times Yba)/Pa\times M$
رابطه (۱۰)	شاخص سودمندی مالی	$AI = [(Pa\times Yab+Pb\times Yba)]\times[(LER-1)/LER]$
رابطه (۱۱)	سودمندی کشت مخلوط اسفناج	$IAa = ALYa\times Pa$
رابطه (۱۲)	سودمندی کشت مخلوط نخود	$IAb = ALYb\times Pb$

در این معادلات Yab و Yba: به‌ترتیب عملکرد گیاه a (اسفناج) و b (نخود) در کشت مخلوط، Yaa و Ybb: به‌ترتیب عملکرد گیاه a (اسفناج) و b (نخود) در کشت خالص، DMab، DMba و DMaa: به‌ترتیب ماده خشک اسفناج (وزن خشک کل) در کشت مخلوط، ماده خشک نخود در کشت مخلوط و ماده خشک اسفناج در کشت خالص، Zab و Zba: به‌ترتیب نسبت گونه a و b در کشت مخلوط، Zaa و Zbb: به‌ترتیب نسبت گونه a و b در کشت خالص، Pa و Pb: به‌ترتیب قیمت محصول اسفناج و نخود و M حداکثر عملکرد اسفناج در کشت خالص است. قیمت هر کیلوگرم بذر اسفناج و نخود به‌ترتیب ۳۵ و ۴۰ هزار تومان در نظر گرفته شد. تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS9.1 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.



شکل ۱- دیاگرام نحوه اجرای کشت مخلوط اسفناج و نخود

Figure 1- Diagram for spinach and chickpea intercropping

نتایج و بحث

ارتفاع بوته و تعداد شاخه در بوته اسفناج

ارتفاع بوته اسفناج به طور معنی‌داری تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت قرار گرفت (جدول ۳). همانگونه که در جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) مشاهده می‌شود، بیشترین ارتفاع بوته اسفناج (۴۵/۳۰ سانتی‌متر) مربوط به تیمار T_1 (کشت مخلوط جایگزینی اسفناج:نخود) و کمترین ارتفاع بوته اسفناج (۳۶/۰۰ سانتی‌متر) نیز به تیمار T_3 (کشت خالص اسفناج) تعلق گرفت. بین تیمارهای کشت مخلوط افزایشی و کشت خالص اسفناج از نظر ارتفاع بوته اسفناج تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. در تیمارهای مخلوط به نظر می‌رسد حضور بوته‌های نخود و تثبیت نیتروژن توسط نخود باعث افزایش ارتفاع بوته اسفناج شده است. به عبارتی، احتمال می‌رود که تراکم بالای نخود در واحد سطح در کشت مخلوط جایگزینی (کشت مخلوط ۴۰ درصد نخود با ۶۰ درصد اسفناج) نسبت به کشت مخلوط افزایشی (کشت مخلوط ۲۰ درصد نخود با ۱۰۰ درصد اسفناج) منجر به فراهمی بیشتر نیتروژن برای گیاه همجوار (اسفناج) شده و این امر نیز به افزایش بیشتر ارتفاع بوته اسفناج منجر گردیده است. در بررسی کشت مخلوط ذرت با لوبیا بیان شد که افزایش ارتفاع بوته ذرت در کشت مخلوط، به‌علت تثبیت نیتروژن توسط لوبیا بوده است (Hakan *et al.*, 2008). در کشت مخلوط اسفرزه با زنیان نیز بیشترین ارتفاع بوته زنیان (۵۱/۳ سانتی‌متر) مربوط به کشت مخلوط افزایشی اسفرزه با زنیان و کمترین ارتفاع بوته (۴۵ سانتی‌متر) مربوط به کشت خالص زنیان بوده است (Mosapour *et al.*, 2015).

اثر تیمار بر تعداد شاخه در بوته اسفناج در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). در مورد این صفت نتیجه متفاوت از ارتفاع بوته بود، به طوری که بیشترین (۱۱/۴۶) و کمترین (۷/۸۰) تعداد شاخه در بوته به‌ترتیب به تیمار T_2 (کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد نخود با اسفناج) و تیمار T_1 (کشت مخلوط جایگزینی اسفناج:نخود) تعلق داشت. در مورد این صفت نیز بین تیمارهای کشت مخلوط افزایشی و کشت خالص اسفناج تفاوت معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۴). احتمالا در کشت مخلوط افزایشی، گیاهان از توزیع مکانی و فضایی مناسبی برخوردار بوده و از عوامل محیطی از قبیل نور، آب و عناصر غذایی به خوبی استفاده کرده‌اند که باعث افزایش تعداد شاخه در بوته شده است. در واقع، به نظر می‌رسد در کشت مخلوط جایگزینی به علت افزایش ارتفاع بوته اسفناج، انرژی کمتری صرف تولید شاخه‌های جانبی شده است. در کشت مخلوط گشنیز با شنبلیله، بیشترین تعداد شاخه در بوته را از کشت مخلوط و کمترین تعداد شاخه در بوته را از کشت خالص شنبلیله گزارش کردند (Bigonah *et al.*, 2015). در کشت مخلوط نخود با زعفران نیز بیشترین تعداد شاخه در بوته نخود از کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد نخود با زعفران به‌دست آمد (Asadi *et al.*, 2016).همچنین در کشت مخلوط رازیانه با شنبلیله، بیشترین تعداد شاخه در بوته رازیانه از کشت مخلوط و کمترین آن در کشت خالص گزارش شده است (Sadri *et al.*, 2015).

تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه اسفناج

تعداد دانه در بوته اسفناج تحت تأثیر کشت مخلوط قرار نگرفت. ولی، اثر الگوی کشت بر وزن هزار دانه اسفناج در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴)، بیشترین وزن هزار دانه (۷۵/۵۶ گرم) به کشت مخلوط افزایشی نخود با اسفناج و کمترین وزن هزار دانه (۴۳/۴۰ گرم) با ۴۳ درصد کاهش نسبت به تیمار کشت مخلوط افزایشی، مربوط به تیمار T_3 (کشت خالص اسفناج) بود.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر صفات زراعی، اجزای عملکرد، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک اسفناج

Table 3- ANOVA for the effect of experimental treatments on agronomic triats, yield components, seed yield and biological yield of spinach

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه در بوته Number of branches/plant	تعداد دانه در بوته Number of seeds/plant	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
بلوک Block	2	331.44^{**}	13.14^{*}	231.28^{ns}	115.44^{ns}	5305^{*}	42255^{*}
تیمار Treatment	2	70.77^{*}	10.57^{*}	812.44^{ns}	843.11^{**}	8280^{*}	46242^{**}
خطا Error	4	11.10	1.20	734.94	56.61	835	3629
ضریب تغییرات CV (%)	-	8.35	11.08	15.92	13.25	11.32	10.32

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** : non significant, significant at $p\leq0.05$ and $p\leq0.01$, respectively.

جدول ٤- اثر تیمارهای آزمایشی بر صفات زراعی، اجزای عملکرد، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک اسفناج

Table 4- The effect of experimental treatments on agronomic triats, yield components, seed yield and biological yield of spinach

تیمار Treatment	ارتفاع بوته Plant Height (cm)	تعداد شاخه در بوته Number of branches.plant^{-1}	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (g.m^{-2})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g.m^{-2})
T_1	45.30 ^{a}	7.80 ^{b}	51.00 ^{b}	195.67 ^{b}	445.45 ^{b}
T_2	38.25 ^{b}	11.46 ^{a}	75.56 ^{a}	295.00 ^{a}	623.30 ^{a}
T_3	36.00 ^{b}	10.33 ^{a}	43.67 ^{b}	275.00 ^{a}	683.25 ^{a}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Means in each column follow by similar letter(s) are not significantly different at 5% of probability level, using LSD test.

T1: کشت مخلوط جایگزینی نخود:اسفناج با نسبت ۶۰:۴۰، T_2 : کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد نخود با اسفناج و T_3: کشت خالص اسفناج

T_1 : Replacement intercropping of spinach:chickpea (60S:40C), T_2: additive intercropping of 20% chickpea with spinach,and T_3: spinach monocuiture

هرچند تیمار کشت خالص اسفناج با کشت مخلوط جایگزینی از نظر وزن هزار دانه اسفناج تفاوت معنی‌دار نداشت، ولی وزن هزار دانه اسفناج در کشت مخلوط افزایشی ۱۴/۳۷ درصد بیشتر از وزن هزار دانه اسفناج در کشت خالص بود. به‌نظر می‌رسد افزایش وزن هزار دانه در تیمار T_2 به دلیل تأثیر مثبت کشت مخلوط از نظر تثبیت نیتروژن توسط نخود و فراهمی مطلوب این عنصر غذایی برای گیاه اسفناج و نیز حفظ رطوبت و تعدیل میکروکلیما به‌دلیل پوشش گیاهی مناسب باشد. از طرفی همانطور که در بخش ارتفاع بوته بیان شد، به‌نظر می‌رسد فراهمی زیاد نیتروژن در کشت مخلوط جایگزینی منجر به رشد رویشی زیاد شده و به همین دلیل وزن دانه‌ها در کشت مخلوط افزایشی بیشتر از کشت مخلوط جایگزینی شده است. گزارش شده است که فراهمی عنصر نیتروژن در سطح مطلوب از طریق افزایش تولید مواد فتوسنتزی و انتقال بیشتر فتوآسمیلات‌ها به سمت مخازن به افزایش وزن هزار دانه منجر می‌شود. به عبارتی، وزن هزار دانه به میزان فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها در زمان پر شدن بستگی دارد (Vrignon-Brenas *et al.*, 2016). در بررسی تأثیر کشت مخلوط بر عملکرد و اجزای عملکرد باقلا و نخود در ترکیب با غلات، بیشترین وزن هزار دانه نخود در تیمارهای کشت مخلوط نخود با تریتیکاله و نخود با جو و کمترین آن در تیمار کشت خالص نخود مشاهده شده است (Soleimanpur *et al.*, 2017). در کشت مخلوط آفتابگردان با لوبیا قرمز نیز بیشترین وزن هزار دانه آفتابگردان از کشت مخلوط و کم‌ترین وزن هزار دانه از کشت خالص آن به‌دست آمد (Koocheki *et al.*, 2017).

عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک اسفناج

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک اسفناج به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت قرار گرفتند (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه (۲۹۵ گرم بر متر مربع) و عملکرد بیولوژیک (۶۸۳/۲۵ گرم بر متر مربع) اسفناج به‌ترتیب به کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد نخود با اسفناج و کشت خالص اسفناج اختصاص یافت. ولی، بین تیمار کشت مخلوط افزایشی و کشت خالص از نظر عملکردهای دانه و بیولوژیک اسفناج تفاوتی وجود نداشت. کمترین عملکرد دانه (۱۹۵/۶۷ گرم بر مترمربع) و عملکرد بیولوژیک (۴۴۵/۴۵ گرم بر متر مربع) اسفناج نیز به کشت مخلوط جایگزینی اسفناج با نخود تعلق گرفت (جدول ۴). با توجه به کاهش تراکم در واحد سطح اسفناج در کشت مخلوط جایگزینی، این امر دور از انتظار نیست. هنگامی‌که دو گونه با ارتفاع بوته، پوشش گیاهی و الگوی رشد متفاوت به صورت همزمان در کشت مخلوط قرار گیرند، کمترین رقابت را با یکدیگر دارند که این موضوع باعث افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک در کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی می‌شود (Borghi *et al.*, 2013). همچنین، عملکرد دانه باقلا در کشت مخلوط با ذرت، ۳۰ درصد نسبت به تک‌کشتی افزایش یافت (Koocheki *et al.*, 2017). در کشت مخلوط ذرت با خلر نیز بیشترین عملکرد بیولوژیک ذرت از نسبت ۷۵ درصد ذرت با ۲۵ درصد خلر گزارش شد (Sadri *et al.*, 2015).

ارتفاع بوته و تعداد شاخه در بوته نخود

اثر الگوهای مختلف کشت بر ارتفاع بوته و تعداد شاخه در بوته نخود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). بیشترین ارتفاع بوته (۳۹/۴۳ سانتی‌متر) و تعداد شاخه در بوته نخود (۱۳/۴۶ شاخه در بوته) به‌ترتیب به کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد نخود با اسفناج (T_2) و کشت خالص نخود (T_3) تعلق گرفت (جدول ۶). ولی، بین کشت مخلوط جایگزینی و کشت خالص نخود از نظر ارتفاع بوته و تعداد شاخه در بوته نخود تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. با این وجود، ارتفاع بوته نخود در کشت مخلوط جایگزینی بیشتر از کشت خالص نخود بود که احتمالا این موضوع منجر به کاهش تعداد شاخه در بوته نخود در کشت مخلوط جایگزینی نسبت به کشت خالص نخود شده است. احتمال می‌رود که افزایش ارتفاع بوته نخود در کشت مخلوط افزایشی، مربوط به رقابت نوری باشد. زیرا رقابت بر سر نور باعث می‌شود تا گیاهان سرمایه‌گذاری بیشتری برای ارتفاع بوته داشته

باشند که این امر به کاهش تعداد شاخه در بوته منجر می‌شود. در شرایط سایه با کاهش نسبت نور قرمز به قرمز دور (R/FR) و کاهش میزان تشعشعات فعال فتوسنتزی (PAR) افزایش ارتفاع گیاهان قابل انتظار است (Yang *et al.*, 2014). در کشت مخلوط گندم با نخود (Javanmard *et al.*, 2016) و در کشت مخلوط جو با نخود (Hamzei and Seyedi, 2013) نیز کمترین ارتفاع بوته و بیشترین تعداد شاخه در بوته نخود از کشت خالص آن و بیشترین ارتفاع بوته و کمترین تعداد شاخه در بوته از کشت مخلوط گزارش شده است.

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای آزمایشی بر صفات زراعی، اجزای عملکرد، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نخود

Table 5– ANOVA (mean squares) for the effect of experimental treatments on agronomic triats, yield components, grain and biological yields of chickpea

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه در بوته N. of branches/plant	تعداد غلاف در بوته N. of pods/plant	تعداد دانه در غلاف N. of grains/pod	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
بلوک Block	2	18.95 ns	21.43 *	23.77ns	0.06ns	1586 *	3470 *	11001*
تیمار Treatment	2	267.71**	44.57*	41.44*	0.04ns	1769*	39573**	157528**
خطا Error	4	16.68	2.85	5.78	0.04	211	380	1388
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	14.22	17.12	10.08	16.41	15.5	12.85	11.13

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, * and ** : non significant, significant at $p\leq 0.05$ and $p\leq 0.01$, respectively.

جدول ٦- اثر تیمارهای آزمایشی بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نخود

Table 6- The effect of experimental treatments on yield components, grain yield and biological yield of chickpea

تیمار Treatment	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه در بوته N. of branches.plant^{-1}	تعداد غلاف در بوته N. of pod.plant^{-1}	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (g.m^{-2})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g.m^{-2})
T_1	25.12 b	10.23 a	25.33 a	285 ab	117 b	279 b
T_2	39.43 a	5.80 b	19.67 b	305 a	58 c	139 c
T_3	21.59 b	13.46 a	26.66 a	257 b	280 a	587 a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Means in each column follow by similar letter(s) are not significantly different at 5% of probability level, using LSD test.

T1: کشت مخلوط جایگزینی نخود:اسفناج با نسبت ۶۰:۴۰ ؛ T2 : کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد نخود با اسفناج و T3: کشت خالص نخود

T_1: Replacement intercropping of spinach:chickpea (60S:40C), T_2: additive intercropping of 20% chickpea with spinach, and T_3: chickpea monocuiture

تعداد غلاف در بوته و وزن هزار دانه نخود

تعداد غلاف در بوته نخود در سطح احتمال یک درصد و وزن هزار دانه نخود در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفتند (جدول ۵). همان‌طور که در جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶) مشاهده می‌شود، بیشترین (۳۶/۴۰) و کمترین (۱۹/۳۸) تعداد غلاف در بوته نخود به‌ترتیب در کشت خالص نخود و کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد نخود با اسفناج مشاهده شد. بین کشت‌های خالص و مخلوط جایگزینی از نظر تعداد غلاف در بوته نخود تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. بیشترین وزن هزار دانه نخود (۳۰۵ گرم) مربوط به کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد نخود با اسفناج بود (جدول ۶). کمترین وزن هزار دانه نخود (۲۵۷ گرم) نیز با حدود ۱۶ درصد کاهش نسبت به تیمار کشت مخلوط افزایشی، مربوط به کشت خالص نخود بود. قابل ذکر است که بین کشت‌های مخلوط از نظر وزن هزار دانه نخود تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. وزن دانه با تعداد دانه در بوته همبستگی منفی دارد. بنابراین، به‌نظر می‌رسد به‌علت کاهش تعداد دانه در بوته نخود در نتیجه کاهش تعداد غلاف در بوته در کشت مخلوط افزایشی، مواد فتوسنتزی بین مخازن کمتری توزیع شده و این امر به افزایش وزن دانه منجر شده است. در سویا نیز دلیل کاهش تعداد غلاف در بوته در کشت مخلوط با ذرت، کاهش تعداد گل‌های بارور و رقابت بین‌گونه‌ای گزارش شده است (Seyedi and Hamzei, 2017).

عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نخود

نتایج تجزیه واریانس دادهها نشان داد که عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نخود در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت قرار گرفتند (جدول ۵). بیشترین عملکرد دانه نخود (۲۸۰ گرم در مترمربع) و عملکرد بیولوژیک (۵۸۷ گرم در متر مربع) به تیمار کشت خالص و کمترین عملکرد دانه (۵۸ گرم در متر مربع) و عملکرد بیولوژیک (۱۳۹ گرم در متر مربع) به کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد نخود با اسفناج تعلق گرفت (جدول ۶). علت اصلی کاهش عملکرد نخود در الگوهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، کاهش تعداد بوته نخود در واحد سطح است. همچنین، رقابت بین‌گونه‌ای برای کسب منابع محیطی مورد نیاز در رشد بهویژه در کشت مخلوط افزایشی، می‌تواند دلیل کاهش عملکرد گیاه همراه (نخود) در کشت مخلوط باشد. رقابت بین گونه‌ای دلیلی بر افزایش رشد رویشی و کاهش اجزای عملکرد ذکر شده است. به‌طوری که، این امر انرژی کسب شده توسط گونه را به سمتی سوق می‌دهد که بتواند اثرات رقابتی را کاهش و یا حذف کند و در نتیجه انرژی کمتری به تولید عملکرد اقتصادی اختصاص می‌دهد (Chapagain and Riseman, 2014). کاهش عملکرد دانه و بیولوژیک نخود در کشت‌های مخلوط نسبت به کشت خالص گزارش شده است (Seyedi and Hamzei, 2017). همچنین، در آزمایشی سرعت رشد کم و قدرت سایه‌اندازی اندک نخود در ابتدای فصل رشد و قدرت رقابتی بالای گندم دلیل کاهش عملکرد دانه و بیولوژیک نخود در کشت مخلوط گزارش شده است (Javanmard *et al*., 2016).

شاخص نسبت برابری زمین (LER) و شاخص بهره‌وری سیستم (SPI)

یکی از شاخص‌هایی که در بسیاری از ترکیبات کشت مخلوط به منظور تعیین سودمندی استفاده می‌شود، نسبت برابری زمین است. در واقع، نسبت برابری زمین نشان دهنده کارایی کشت مخلوط در جهت استفاده از منابع در مقایسه با کشت خالص است (Lithourgidis *et al*., 2011). در این آزمایش کشت‌های مخلوط نسبت برابری زمین بیشتر از یک داشتند (۱/۲۸ و ۱/۱۳ به ترتیب در کشت مخلوط افزایشی و کشت مخلوط جایگزینی) (جدول ۷) که این امر نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط بر کشت خالص می‌باشد. این یافته‌ها بیانگر این است که برای به‌دست آوردن عملکر ی معادل الگوهای کشت مخلوط، در سیستم تک‌کشتی به‌ترتیب ۲۸ و ۱۳ درصد زمین بیشتر مورد نیاز است. اضافه عملکرد به‌دست آمده را می‌توان به استفاده بهتر از منابع موجود توسط دو گیاه و اختلافات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بین آنها نسبت داد. در بررسی کشت مخلوط نخود با جو بیان شد که بهره‌وری استفاده از زمین در کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی بیشتر است و محاسبه LER نیز نشان داد کشت مخلوط ۳۲ درصد بهره‌وری بیشتری نسبت به تک‌کشتی دارد (Chapagain and Riseman, 2014). در کشت مخلوط ذرت شیرین با ماش نیز نسبت برابری زمین بیشتر از یک گزارش شده است (Gholinejad *et al*., 2018).

بیشترین مقدار شاخص بهره‌وری سیستم نیز مربوط به کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد نخود با اسفناج (۳۵۱/۹۶) بود که نشان‌دهنده برتری این الگوی کشت می‌باشد (جدول ۷). این برتری احتمالا به دلیل استفاده بهتر اجزای مخلوط از منابع رشدی مانند نور، آب و مواد غذایی در مقایسه با تک‌کشتی است.

جدول ۷- شاخص‌های سودمندی در کشت مخلوط اسفناج و نخود

Table 7- Advantage indices in spinach:chickpea intercropping

کشت مخلوط Intercropping	نسبت برابری زمین (LER)[1]			نسبت رقابتی (CR)[2]				
	اسفناج LER_S	نخود LER_C	کل LER_T	اسفناج CR_S	نخود CR_C	نخود/اسفناج CR_S/CR_C	نسبت برابری وزن خشک DMER	شاخص بهره‌وری سیستم SPI
60:40 (S:C)	0.71	0.42	1.13	1.14	0.88	1.29	1.06	310.58
100:20 (S:C)	1.07	0.21	1.28	1.04	0.97	1.07	1.10	351.96

کشت مخلوط Intercropping	کاهش عملکرد واقعی (AYL)			شاخص غالبیت (AG)		مجموع ارزش	شاخص	سودمندی کشت مخلوط (IA)		
	اسفناج AYL_S	نخود AYL_C	کل AYL_T	اسفناج AG_S	نخود AG_C	نسبی RVT	سودمندی مالی MAI	اسفناج IA_S	نخود IA_C	کل IA_T
60:40 (S:C)	0.07	0.04	0.11	0.59	-0.59	1.20	1321	2.55	1.43	3.97
100:20 (S:C)	0.19	0.04	0.23	1.73	-1.73	1.31	2765	6.51	1.79	8.29

1- Land equivalent ratio
2- Competitive ratio

به طور کلی اگر الگوی کشت مخلوط به گونه‌ای طراحی شود که در آن عملکرد گیاه اصلی (اسفناج در این تحقیق) کاهش نیابد، هر میزان محصول یا سودی که از گیاه همراه (نخود در این تحقیق) عاید کشاورز می‌شود، سود دهی آن را توجیه خواهد کرد. سودمندی کشت مخلوط جو با نخود فرنگی با استفاده از شاخص بهره‌وری سیستم گزارش شده است (Sakhavi *et al.*, 2017).

شاخص نسبت رقابتی (CR) و نسبت برابری وزن خشک (DMER)

از ابزارهای مهم تشخیص درجه رقابت بین دو گونه گیاهی شاخص نسبت رقابتی است (Wahla *et al.*, 2019). طبق نتایج این آزمایش، نسبت رقابتی اسفناج در هر دو تیمار کشت مخلوط جایگزینی و افزایشی بزرگتر از نسبت رقابتی نخود بود که دال بر قدرت رقابتی بالاتر اسفناج نسبت به نخود دارد (جدول ۷). بنابراین، می‌توان نخود را گیاهی مناسب برای کشت مخلوط با اسفناج معرفی کرد.

علیرغم استفاده گسترده از LER در ارزیابی کارایی سیستم‌های کشت مخلوط، کفایت آن در ارزیابی کشت مخلوط افزایشی به‌طور گسترده مورد سوال قرار می‌گیرد. یک نقص عمده این است که در سری‌های افزایشی، محصول اصلی با تراکم ۱۰۰ درصد به همراه درصدی از محصول همراه کشت می‌شود که در نهایت منجر به LER بیش از یک می‌شود. به عبارتی، LER ممکن است بیش از حد واقعی سودمندی کشت مخلوط را نشان دهد. بنابراین، هر زمان که هدف به حداکثر رساندن محصول باشد، پیشنهاد می‌شود از شاخص DMER به جای LER در کشت مخلوط افزایشی استفاده شود (Salama *et al.*, 2022). ارزیابی سودمندی کشت مخلوط بر اساس شاخص نسبت برابری وزن خشک (DMER) نیز بیانگر این بود که کشت مخلوط اسفناج با نخود سودمند است. به‌طوری که مقدار عددی DMER در هر دو الگوی کشت مخلوط (۱/۰۶ و ۱/۱۰ به ترتیب برای کشت مخلوط جایگزینی و افزایشی) بزرگتر از واحد و کمتر از مقدار LER بود (جدول ۷).

شاخص کاهش عملکرد واقعی (AYL) و شاخص غالبیت (AG)

شاخص کاهش عملکرد واقعی، اطلاعات دقیق‌تری نسبت به سایر شاخص‌ها در خصوص رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای در کشت مخلوط ارایه می‌دهد (Dordas *et al.*, 2012). شاخص کاهش عملکرد واقعی اسفناج در کشت مخلوط با نخود مثبت بود (۰/۰۷ و ۰/۱۹ به‌ترتیب برای کشت مخلوط جایگزینی و افزایشی). به‌عبارتی، در کشت مخلوط جایگزینی و افزایشی عملکرد اسفناج به ترتیب ۷ و ۱۹ درصد افزایش می‌یابد. علامت مثبت این شاخص علاوه بر افزایش عملکرد نسبت به کشت خالص دال بر غالبیت اسفناج نسبت به نخود نیز می‌باشد. با این وجود، در این آزمایش شاخص کاهش عملکرد واقعی نخود مثبت و در هر دو الگوی کشت مخلوط برابر ۰/۰۴ بود. شاخص کاهش عملکرد واقعی کل نیز در کشت مخلوط افزایشی ۰/۲۳ و در کشت مخلوط جایگزینی ۰/۱۱ بود که باز سودمندی کشت مخلوط اسفناج با نخود را نشان می‌دهد. در کشت مخلوط نخود فرنگی با برخی از غلات، شاخص کاهش عملکرد واقعی کل در تمام تیمارها مثبت بوده و بر اساس این شاخص در کشت مخلوط این گیاهان دو تا ۶۳ درصد افزایش عملکرد نسبت به تک کشتی گزارش شده است (Wahla *et al.*, 2019).

شاخص غالبیت نشان دهنده این است که افزایش عملکرد نسبی یک گونه در کشت مخلوط چه مقدار بزرگتر از گونه دیگر است (Wahla *et al.*, 2019). اگر AG برابر صفر شود هر دو گیاه قدرت رقابتی برابر دارند و زمانی که AG یک گیاه بزرگ‌تر از صفر شود، نشان‌دهنده غالب بودن آن گیاه بر گیاه دیگر و برعکس می‌باشد (Dordas *et al.*, 2012). شاخص غالبیت اسفناج در کشت مخلوط افزایشی با نخود (۱/۷۳) بیشتر از کشت مخلوط جایگزینی اسفناج با نخود (۰/۵۹) بود (جدول ۷). بنابراین، اسفناج گیاه غالب و نخود گیاه مغلوب می‌باشد. همین امر سبب بیشتر شدن عملکرد اسفناج نسبت به نخود می‌باشد. در کشت مخلوط گندم دوروم و نخود نیز شاخص غالبیت برای گندم مثبت و برای نخود منفی گزارش شده است (Banik *et al.*, 2006).

مجموع ارزش نسبی (RVT)، شاخص سودمندی مالی (MAI) و سودمندی کشت مخلوط (IA)

مجموع ارزش نسبی در تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود که در این میان تیمار کشت مخلوط افزایشی نخود با اسفناج، بالاترین (۱/۳۱) مجموع ارزش نسبی را به خود اختصاص داد. با توجه به اینکه مجموع ارزش نسبی بیانگر میزان درآمد حاصل از کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی است، نتایج بیانگر این است که در تیمارهای کشت مخلوط درآمد نسبت به کشت خالص زیادتر بوده است. در کشت مخلوط زیره سبز با باقلا مجموع ارزش نسبی بیشتر از یک بوده است (Sakhavi *et al.*, 2017). در دیگر آزمایشات نیز بالاترین مجموع ارزش نسبی از کشت مخلوط افزایشی شنبلیله با رازیانه (Sadri *et al.*, 2015) و باقلا با ذرت (Hamzei and Ghamari Rahim, 2016) به‌دست آمد.

اختلافات موجود بین سودمندی سیستم‌های کشت مخلوط از

لحاظ اقتصادی می‌تواند ناشی از اختلاف عوامل مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی، نیازهای غذایی مختلف گونه‌ها و نحوه استفاده آنها از منابع رشدی و همچنین غالبیت یک گونه نسبت به دیگری باشد (Dordas *et al.*, 2012). بررسی سودمندی اقتصادی کشت مخلوط اسفناج با نخود از طریق شاخص سودمندی مالی نشان داد که کشت مخلوط نسبت به تک کشتی به لحاظ اقتصادی سودمند است (جدول ۷). بیشترین عدد این شاخص (۲۷۶۵) مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی بود و کشت مخلوط جایگزینی در رتبه بعدی قرار گرفت. در کشت مخلوط نخود فرنگی با گندم مقدار شاخص سودمندی مالی در تمامی نسبت‌ها به غیر از نسبت ۶۰:۴۰ (گندم:نخود فرنگی) مثبت گزارش شده است (Wahla *et al.*, 2019).

از طرفی، مقدار مثبت شاخص سودمندی کشت مخلوط دال بر سودمندی اقتصادی کشت مخلوط نسبت به تک کشتی است. این امر به احتمال زیاد از استفاده بهتر اجزای کشت مخلوط از منابع موجود مانند نور، آب و مواد غذایی ناشی می‌شود (Wahla *et al.*, 2019). بیشترین سودمندی کشت مخلوط اسفناج و نیز سودمندی کشت مخلوط کل مربوط به کشت مخلوط افزایشی بود و کمترین میزان این شاخص به تیمار کشت مخلوط جایگزینی اسفناج با نخود تعلق گرفت (جدول ۷). در کشت مخلوط گندم و جو با ماشک نیز سودمندی کشت مخلوط مثبت گزارش شده است (Dordas *et al.*, 2012).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کشت مخلوط اسفناج با نخود می‌تواند افزایش عملکرد اسفناج را به دنبال داشته باشد. به‌طوری‌که بیشترین میزان عملکرد اسفناج در کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد نخود با اسفناج مشاهده شد. هرچند این تیمار از نظر عملکرد اقتصادی با کشت خالص اسفناج تفاوتی نداشت، ولی مقادیر حاصل از شاخص‌های مختلف کشت مخلوط، مزیت کشت مخلوط اسفناج با نخود را توجیه می‌کند. به‌طوری که، بالاترین مقادیر LER، SPI، DMER، AYL، MAI و IA از کشت مخلوط افزایشی حاصل شد. بنابراین می‌توان این الگوی کشت را جهت بهره‌مندی از سود بیشتر در زراعت اسفناج به کشاورزان توصیه کرد.

منابع

1. Asadi, G.H., KHorramdel, S., & Hatfifarajian, M.H. (2016). The effects of row intercropping ratios of chickpea and saffron on their quantitative characteristics and yield. *Journal of Saffron Agronomy and Technology*, *4*, 93-103. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22048/jsat.2016.17360
2. Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., & Ghose, S.S. (2006). Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. *European Journal of Agronomy*, *24*, 325-332. https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.10.010
3. Barker, S., & Dennet, M.D. (2013). Effect of density, cultivar and irrigation on sprihng sown monocrops and intercrop if wheat (*Triticum aestivum* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.). *European Journal of Agronomy*, *51*, 108-116. https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.08.001
4. Bedoussac, L., & Justes, E. (2011). A comparison of commonly used indices for evaluating species interactions and intercrop efficiency: Application to durum wheat–winter pea intercrops. *Field Crops Research*, *124*, 25–36. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.05.025
5. Bigonah, R., Rezvani Moghaddam, P., & Jahan, M. (2015). Effects of intercropping on biological yield, percentage of nitrogen and morphological characteristics of coriander and fenugreek. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*, 574-581. (In Persian with English abstract)
6. Borghi, E., Crusciol, C.A.C., Nascente, A.S., Sousa, V.V., Martins, P.O., Mateus, G.P., & Costa, C. (2013). Sorghum grain yield, forage biomass production and revenue as affected by intercropping time. *European Journal of Agronomy*, *51*, 130-139. https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.08.006
7. Chapagain, T., & Riseman, A. (2014). Barley–pea intercropping: Effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. *Field Crops Research*, *166*, 18–25. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.06.014
8. Dhima, K.V., Lithourgidis, A.A., Vasilakoglou, I.B., & Dordas, C.A. (2007). Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research*, *100*, 249-256. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.008
9. Dordas, C.A., Vlachostergios, D.N., & Lithourgidis, A.S. (2012). Growth dynamics and agronomic-economic benefits of pea–oat and pea–barley intercrops. *Crop and Pasture Science*, *63*, 45-52. https://doi.org/10.1071/CP11181
10. Erik, S.J., Peoples, M.B., & Hauggaard-Nielsen, H. (2010). Faba bean in cropping systems. *Field Crops Research*, *115*, 203-216. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.10.008
11. Fatemi, R., Hoseini, S.M.B., & Motasharezadeh, B. (2021). Evaluation of light consumption efficiency in a mixture of maize and beans cultivation under the influence of biologic and organic fertilizers. *Journal of Crops Improvement*, *23*(4), 699-712. (In Persian with English abstract)

12. Gholinejad, A., Yadavi, A.R., Movahhedi Dehnavi, M., & Farajee, H. (2018). The effect of additive intercropping on yield and yield components of sweet corn (*Zea mays* L. Var. Saccharata) and mungbean (*Vigna radiate* L.) and weed biomass. *Journal of Agroecology, 10*, 120-134. (In Persian with English abstract)
13. Hakan, G., Riza, A., Hikmet, S., & Behcet, K. (2008). Intercropping of corn with cowpea and bean: Biomass yield and silage quality. *African Journal of Biotechnology, 7*, 4100-4104.
14. Hamzei, J., & Seyedi, M. (2013). Evaluation of barley (*hordeum vulgare*) and chickpea (*Cicer arietinum*) intercropping systems using advantageous indices of intercropping under weed interference conditions. *Daneshe Zeraat, 5*(9), 1-12.
15. Hamzei, J., & Ghamari Rahim, N. (2016). Economical evaluation of faba bean (*Vicia faba*) and maize (*Zea mays* L.) intercropping based on total relative value index and weeds growth reduction. *Journal of Crop Production and Processing, 6*, 97-109. (In Persian with English abstract)
16. Ibrahim, M., Ayub, M., Maqbool, M.M., Nadeem, S.M., Haq, T., Hussain, S., Ali, A., & Lauriault, L.M. 2014. Forage yield components of irrigated maize-legume mixtures at varied seed ratios. *Field Crops Research, 169*, 140-144. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.08.013
17. Iqbal, N., Hussain, S., Ahmed, Z., Yang, F., Wang, X., Liu, W., & Liu, J. (2019). Comparative analysis of maize–soybean strip intercropping systems: a review. *Plant Production Science, 2*, 131-142. https://doi.org/10.1080/1343943X.2018.1541137
18. Javanmard, A., Rostami, A., Nouraein, M., & Gharekhany, G.H. (2016). Agronomical, ecological and economical evaluation of wheat- chickpea intercropping under rainfed condition of Maragheh. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 26*, 19-37. (In Persian with English abstract)
19. Kimura, E., Fransen, S.C., Collins, H.P., Stanton, B.J., Himes, A., Smith, J., & Johnston, W.J. (2018). Effect of intercropping hybrid poplar and switchgrass on biomass yield, forage quality, and land use efficiency for bioenergy production. *Biomass and Bioenergy, 111*, 31-38. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.01.011
20. Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., Borumand Rezazadeh, Z., Jahani, M., & Jafari, L. (2014). Yield responses of Black Cumin *(Nigella sativa* L.) to intercropping with chickpea *(Cicer arietinum* L.*)* and bean *(Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*, 1-8.
21. Koocheki, A., Nassiri Mahaalati, M., Mansoori, H., & Moradi, R.A. (2014). Assessing agricultural sustainability in Iran by relative advantage approach. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 23*, 179-197. (In Persian with English abstract)
22. Koocheki, A., Solouki, H., & Karbor, S. (2017). Study of ecological aspects of sesame (*Sesamum indicum* L.) and mung bean (*Vigna radiata* L.) intercropping in weed control. *Iranian Journal of Pulse Research, 7*, 27-44. (In Persian with English abstract)
23. Latati, M., Dokukin, P., Aouiche, A., Rebouh, N.Y., Takouachet, R., Hafnaoui, E., & Ounane, S.M. (2019). Species interactions improve above-ground biomass and land use efficiency in intercropped wheat and chickpea under low soil inputs. *Agronomy, 11*, 750-765. https://doi.org/10.3390/agronomy9110765
24. Lithourgidis, A.S., Vlachostergios, D.N., Dordas, C.A., & Damalas, C.A. (2011). Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy, 34*, 287-294. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.007
25. Mei, P.P., Gui, L.G., Wang, P., Hung, J., Long, H.Y., Christie, P., & Li, L. (2012). Maize/faba bean intercropping with rhizobia inoculation enhances productivity and recovery of fertilizer p in reclaimed desert soil. *Field Crops Research, 130*, 19-27. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.02.007
26. Mosapour, H., Ghanbari, A., Sirousmehr, A.R., & Asgharipour, M.R. (2015). Effect of sowing time on seed yield, advantage and competitive indices in ajwain (*Carum copticum* L.) and isabgol (*Plantago ovate* Forsk.) intercropping. *Iranian Journal of Crop Sciences, 17*, 139-152. (In Persian with English abstract)
27. Nawar, H.S., & Khalil, H.E. (2020). Additive intercropping of sunflower and soybean to improve yield and land use efficiency: Effect of thinning interval and nitrogen fertilization. *Chilean Journal of Agricultural Research, 2*, 142-152. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392020000200142
28. Sadri, S., Pouryousef, M., & Soleimani A. (2015). Evaluation of yield, essential oil and productivity indices in fennel and fenugreek intercropping. *Journal of Crops Improvement, 16*, 921-932.
29. Sakhavi, S., Amini, R., Shakiba, M.R., & Dabbagh Mohammadi, A. (2017). Effect of bio- and chemical fertilizers on grain and essential oil yield of cumin (*Cuminum cyminum* L.) in intercropping with faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 27*, 49-63.
30. Salama, H.S.A., Nawar, A.I., & Khalil, H.E. (2022). Intercropping pattern and n fertilizer schedule affect the performance of additively intercropped maize and forage cowpea in the Mediterranean region. *Agronomy, 12*, 1-17. https://doi.org/10.3390/agronomy12010107
31. Salehi Sheikhi, M., Nakhzari Moghaddam, A., Rahemi Karizaki, A., & Mohammad Esmaili, M. (2020). Effect of pea cultivar and replacement and additive intercropping ratios of pea and spinach on yield and competition indices. *Journal of Crop Improvement, 23*(4), 939-952.

32. Seyedi, M., & Hamzei, J. (2017). Effect of conservation and conventional tillage on weeds biodiversity and water and nitrogen use efficiency in sole and additive intercropping of soybean with sunflower. *Journal of Agroecology*, *7*, 120-133. (In Persian with English abstract)
33. Soleimanpur, L., Naderi, R.A., Bijanzadehe, A., & Emam, Y. (2017). Response of faba bean and pea yield components to cereal-legume intercropping under weed competitions. *Iranian Journal of Pulse Research*, *8*, 150-163. (In Persian with English abstract)
34. Undie, U., Uwah, F.D., & Attoe, E.E. (2012). Effect of intercropping and crop arrangement on yield and productivity of late season maize/soybean mixtures in the humid environment of south southern Nigeria. *Journal of Agricultural Science*, *4*, 37-50. https://doi.org/10.5539/jas.v4n4p37
35. Vrignon-Brenas, S., Celette, F., Piquet-Pissaloux, A., Jeuffroy, M.H., & Davi, C. (2016). Early assessment of ecological services provided by forage legumes in relay intercropping. *European Journal of Agronomy*, *75*, 89-98. https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.01.011
36. Wahla, I.H., Ahmad, R., Ehsanullah Ahmad, A., & Jabbar, A. (2009). Competitive functions of components crops in some barley based intercropping systems. *International Journal of Agricultural Biology*, *11*(1), 69-72.
37. Yang, F., Huang, S., Gao, R., Liu, W., Yong, T., Wang, X., Wu, X., & Yang, W. (2014). Growth of soybean seedling in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red: far-red ratio. *Field Crops Research*, *155*, 245-253. http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.011